轉作田玉米整地與不整地及肥料深施效果試驗[1]

（轉作田玉米播植行深犂及肥料深施之效果）

連　　深[2]

摘　　要

於1983～1986年間在霧峰（本所）四處，二崙一處及學甲二處，探討轉作田秋作玉米之播植行深犂與肥料深施（in–row subsoiling and deep banding of fertilizers）效果。深犂與深施處理係使用一種深耕犂和淺犂組合之雙層施肥播種機將所需磷鉀肥之全量及氮肥之半量於播種時，以２：１比例各深、淺施於播植行下深約25公分處及播種溝旁（使用粒狀複合肥料）；餘半量氮肥則於膝高期追施（使用尿素）。

四年之試驗結果證實在整地下，播植行深犂與肥料深施之效果非常顯著，較一般施肥法增產子實 0.7～1.6t／ha 增產率達11～34%。此種效果之約半可歸因於播植行深犂本身。不同深度之深犂與肥料深施效果以25公分深顯著大於其一半深度者。

在本試驗之初期不整地下之播植行深犂與肥料深施效果並未顯著，但經改善播種溝土壤之物理性（即該施肥播種機附加破土輪打碎土塊並予壓實）後效果已顯著提高，接近於整地而行播植行深犂與肥料深施者。

播植行深犂與肥料深施之效果顯著與否視土壤而異；其效果年試區10—38公分剖面土壤之平均硬度有顯著正相關，顯示土壤硬度大，或有效土層淺，阻礙作物根系發展為轉作田玉米生長之主要限制因子，值得注意。

研究計畫主題中英文關鍵字

轉作田、整地、不整地、播植行深犂、肥料深施、玉米。

Paddy field converted to upland, tillage, no–tillage, in–row subsoiling, deep banding of fertilizer, corn.

前　　言

稻田因長年在浸水狀態下耕耘，經過長期滲濾物質之聚積及機械之壓實，其表土下15～45公分處常形成硬盤或所謂的犂底層。此種硬盤對於水稻栽培或許利多於弊，對於轉作玉米之生育却只會構成阻礙。

本省稻田犂底層之存在可由梁氏及 (10) 郭氏 (11) 等 (11) 之報告概見。郭氏等並示

1.本計畫承農委會資助，謹此致謝。

2.臺灣省農業試驗所農化系研究員兼主任。

不同稻田之底土機械阻力與玉米根系之發展有關。一般公認[6]阻礙根系發展的土壤硬度(soil strength)為 30 bar，而根羣發達良好土層之硬度應在 10 bar 以下，可見土壤機械阻力對作物根系發展之重要性。

一般迴轉犂耕耘深度很淺，肥料施用亦淺，而不整地栽培之施肥則以表施為常。又本省中南部栽培秋作玉米，時值乾旱季節，所施肥料亦頗有隨水分蒸散聚集於地面之虞。

以上均將影響玉米根系的發展或導致肥料之損失和玉米生育後期養分吸收之不繼，推測肥料如以深耕犂局部條施於播植行下約25公分處則既有局部破壞犂底，且有導引玉米根系往下發展之功效，而玉米生產潛力亦可能因此提高。

有關玉米田之播植行深犂 (in-row subsoiling), Naderman 等[4,5]在美國北卡州，底土有硬盤之土壤曾示其顯著效果，但渠等並未涉及肥料之深施。最近 Baker 等[1]在美國愛荷華州以一種輪幅注肥機 (Spoke wheel injector) 試驗肥料之點施效果，但其深度僅及10—20公分，並且肥料形態限於液態。在本省楊等[12,13]亦示轉作田打破犂底層及肥料深施對玉米之效果，惟渠等係使用中耕機開溝，溝寬較大 (20—25公分)，相當於局部深耕後之肥料深施，或為全面深耕 (深60—70公分) 後之肥料深施，與本試驗使用狹窄的深犂 (寬僅4公分)，對土壤之攪動較小，所耗能量較小，同時施肥播種，等有許多差異。

本試驗在開始時亦以人工開溝後深施肥料，惟其溝寬較窄 (僅12公分左右)，繼而改以深耕犂和淺犂組合之雙層施肥播種機將基肥之三分之二深施於播植行下寬約4公分、深約25公分處，而另三分之一基肥則淺施於播種溝旁，並且施肥與播種一次完成。除了此種播植行深犂與肥料深施的組合效果外，本試驗亦探討播植行深犂和肥料深施的各別效果，並涉及不同深犂與深施之深度，肥料在淺層與深層之分配比率以及不同土壤之深犂與深施等效果之比較。

試驗材料與方法

一、試驗地點及土壤理化性質

本試驗於1983～1986年間在霧峰本所四處、二崙一處及學甲二處進行 (太保一處仍在進行中)，探討稻田轉作秋玉米 (品種臺農 351號) 之播植行深犂與肥料深施效果。各試驗地點土壤之一般理化性質如表1，剖面土壤之硬度如圖1。

表 1. 各試驗地點土壤之一般理化性質

Table 1. Some properties of the soils at experimental locations.

地點 Location	母質 Parent material	土系 Soil Series	土壤平準 Soil horizons	pH	有機質 O. M. (%)	有效磷 Bray P (ppm)	質地 Texture	構造 Structure	結構(乾時) Consistency (when dry)	滲透性 Permeability
霧峰 wu-feng	粘板岩 砂頁岩 混合 新沖積	七塊厝系	0—15	5.0	1.4	3.3	SiL	犂體狀 Massive	硬 hard	中～不良 Moderate to low
			15—30	6.5	1.8	1.6	SiL			
			30—60				SiL-SiCL			
二崙 Erh-lun	粘板岩 老沖積	二林系	0—15	7.3	1.6	14.0	SL～L	弱，中亞稜塊狀 Weak, medium subanguiar blocky	稍硬 Slightly hard	中～良 Moderate to well
			15—30	7.5	1.6	5.4	SiL			
			30—60				SiL			

學甲1 Shueh-chia 1	砂頁岩新沖積 石灰性	岸內系	0—15 15—30 30—60	5.6 7.4	2.3 1.6	15.1 2.3	SiL SiL SiL	屑粒狀 Crumb	脆 Friable	中～良 Moderate to well
學甲2 Shueh-chia 2	砂頁岩 新沖積 石灰性	將軍系	0—15 15—30 30—60	5.3 7.6	1.9 1.2	13.9 1.2	SiL SiL VfSL	屑粒狀 Crumb	脆 Friable	中～良 Moderate to well
太保 Tai-Pao	砂頁岩 沖積 石灰性	座駕系	0—15 15—30 30—60				SiL SiL SiL	弱，細粒狀 Weak, fine granule	硬 hard	中～良 Moderate to well

以本所51號田爲代表

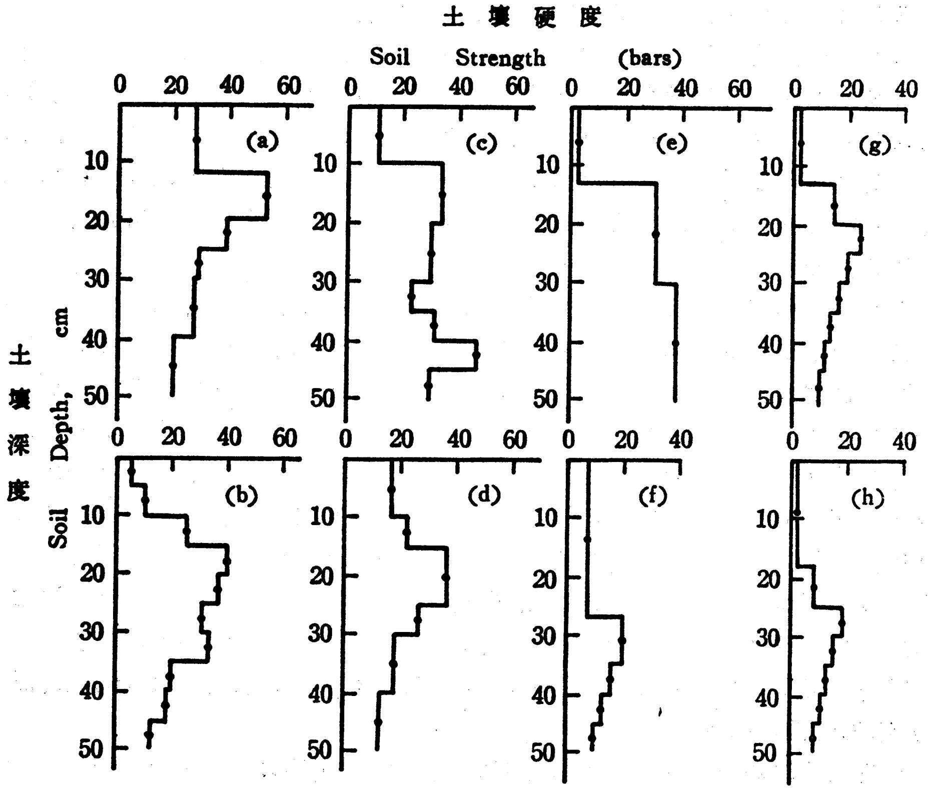

圖1. 各試驗地剖面土壤之硬度。(a) 霧峰（本所90號田），(b) 同左51號田，(c) 同左52號田，(d) 同左39號田，(e) 太保，(f) 二崙，(g) 學甲1，(h) 學甲2。

Fig 1. Soil strength in bars of the 0 to 50 cm soil depths at each experimental locations measured by penetrometer.

由表1可見霧峰和太保兩試驗地土壤構造均較其他土壤差，屬細粒狀至整體狀；結構亦較硬。由圖1更可見霧峰與太保各試驗地土壤之剖面各層硬度均顯著大於其他土壤，而且其最硬層（即犂底層）之位置亦較其他土壤高，故對於作物根系發展的阻礙亦較大。

二、試驗處理及設計

試驗1、播植行深犂與肥料深施 × 栽植密度 × 氮素用量試驗（霧峰本所39號田，1983年秋作）

試驗處理為（1）施肥方法兩種：(a) 標準施肥；即依照施肥手冊[8]方法，將磷、鉀肥用量之全部和氮肥之一半當基肥，另半量氮肥當膝高期追肥施用。基肥條施於株旁，距種子約5公分，深3－5公分，施後蓋土。(b) 深施；三要素用量之半量依照標準方法施用，另半量於播種時條施於播植行下約25公分（寬約12公分）處（施肥溝係人工所開），（2）行株距2變級（70×25及70×20cm）和（3）氮用量3變級（標準施肥區設 100、200、300kg/ha，深施區設 200、300、400kg/ha 各變級）之組合，依次為主處理及第一、二副處理，裂區排列，二區集。P_2O_5、K_2O 各區均施各200 及 100kg/ha 以資充足。小區面積 38.5m²（7.7×5m），11行區。施用肥料種類為硫銨、過磷酸鈣及氯化鉀，但深施所用肥料則以複合肥料39號為主。

試驗2、氮素用量×播植行深犂與肥料深施試驗（本所52號田及二崙，1984年秋作）

試驗處理為氮素用量2變級（N150 及 225kg/ha）及施肥方法二種：(a) 標準施肥（同試驗1），(b) 深施；（施肥方法同試驗1之深施處理，但基肥係使用以深耕犂和淺犂所組合的雙層施肥播種機（本所農機系研裝）施用；淺層及深層施肥部份之溝深各約5及25公分，寬均約4公分）之組合，依次為主、副處理，裂區排列、三區集。施用肥料種類同試驗一。

試驗3、整地與不整地及播植行深犂和肥料深施效果試驗（本所51號田，1985年秋作）

試驗分整地及不整地兩部份。整地部份主處理設氮素用量2變級（N160 及 240kg／ha）及副處理三種施肥方法，如下：(a) 對照（一）；即現行標準施肥方法（同試驗1及2），(b) 深施；係使用上述雙層施肥播種機將磷、鉀用量之大部份及氮肥用量之約半量（使用臺肥複合肥料39號）於播種時深施於播植行下約25公分處，同時將小部份肥料（N、P_2O_5、K_2O 各 24，36，24kg／ha）以臺肥複合肥料39號 200kg／ha 淺施於播植行旁，距離種子約5公分，深約3～5公分處。其餘氮肥則於膝高期追施。(c) 對照（二）；施肥方法同對照（一），但用雙層施肥播種機操作同處理（二）。故本處理與對照（一）之差別為播植行深犂（in-row subsoiling）之有無。

不整地部份主處理仍設氮素2變級（同上），但副處理則僅設 (a) 對照（一）及 (b) 深施兩種處理。

試驗設計均為裂區，2區集。小區面積 140m²（40×3.5m），即5行區 40m 長。行株距均為70×25公分。

試驗4、整地與不整地及不同深度之播植行深犂與肥料深施效果試驗（本所90號田，1986年秋作。）

本試驗仍設整地及不整地兩主處理，再於各主處理區設置不同深度之播植行深犂與肥料深施各副處理：即 (a) 對照；現行標準施肥方法（同試驗1，2及3，(b) 播植行深犂與肥料深施（1）；係使用同試驗3之雙層施肥播種機將所需磷鉀肥之全量及氮肥之半量以2：1比例於播種時各深、淺施於播植行下約 12.5公分處及播植溝旁，距種子約5公分，深約3－5公分處。餘半量氮肥則於膝高期追施。(c) 播植行深犂與肥料深施（2）；除了播植行深犂與肥料深施處理之深度為25公分外，餘與處理 (d) 同。各副處理區施肥量均同（N、P_2O_5、K_2O 各 180、135、90kg／ha）。

在本試驗中各副處理均設二區集，而兩個區集卻均排於同一主區內，故本試驗設計

係一種主處理完全逢機之裂區設計 (split plot design with main treatments arranged in completely randomized design) 。小區面積為 168m², 6行區，4.2m×40m。栽植密度為 70cm×25cm。

試驗5、播植行深犂／肥料深施效果觀察試驗。

本試驗係在學甲兩試驗地，均在整地下進行。其施肥方法處理僅設 (a) 對照與 (b) 播植行深犂與肥料深施兩種，其處理內容各與試驗4之 (a) 和 (c) 處理相同，各設3重複。小區面積為 315m²，15行區 10.5m×30m。栽植密度為 70cm×28cm。

三、調查方法：

1. 於吐絲期自各小區採取植株各4株 (密植區採6株)，測定葉、莖、穗等器官之乾物重量及三要素含量，並以田中氏等[7]所述方法測定葉面積指數。
2. 於收穫期去除邊行後測定區內之子實及全植株乾物重量，平均每穗粒數和千粒重等。
3. 於收穫期試坑，調查剖面各層土壤之導電度 (水：土＝5：1)，硝酸含量及根點數。根點數係依據 Bohm 氏方法[2]所測定。土壤剖面各層硬度係使用山中式土壤硬度計測定。

試驗結果

各試驗結果如表2,3,4,5及6.

表2. 整地下播植行深犂與肥料深施、栽植密度以及氮素用量對玉米生育與收量之效果 (試驗一、本所39號田，1983年秋作)

Table 2. Effect of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers, different densities and N rates on the growth and yield of corn under tilled condition. (Experiment 1, Wu-feng, fall crop 1986).

Treatment	placement / Density \ N (kg/ha)	對照 Ordinary 100	對照 Ordinary 200	對照 Ordinary 300	播植行深犂／深施 in-row subsoiling/deep banding 200	播植行深犂／深施 in-row subsoiling/deep banding 300	播植行深犂／深施 in-row subsoiling/deep banding 400
玉米收量 (頓／公頃) Grain yield[a] (t/ha)	[b]D_1	5.21	6.36	6.50	6.68	7.18	6.69
	D_2	5.32	6.37	6.66	7.49	7.19	7.12
葉面積指數吐絲期(頓／公頃) LAI at silking	D_1	2.27	2.82	2.87	2.77	3.05	3.01
	D_2	2.40	3.18	3.61	3.50	3.52	3.60
乾物量 (頓／公頃) D. W. (t/ha) 吐絲期 at silking	D_1	4.43	5.29	5.28	4.24	4.80	6.26
	D_2	4.19	5.58	7.01	5.69	5.93	5.14
乾物量 (噸／公頃) D. W. (t/ha) 成熟期 at maturity	D_1	9.6	11.0	11.3	12.3	13.1	12.8
	D_2	11.1	10.5	12.0	12.4	13.0	13.1
吐絲期葉中養分百分比 Percentage in leaves at silking (mean of D &D)	N	2.75	3.08	3.19	3.17	3.32	3.36
	P	0.22	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26
	K	2.55	2.27	2.43	2.49	2.40	2.43

子實粒數 Grain no／m²×10	D^1 D_2	1.97 1.97	2.41 2.38	2.36 2.53	2.51 2.73	2.57 2.66	2.49 2.71
千粒重 1000 grain wt.	D^1 D_2	265 271	264 268	276 263	267 275	279 271	270 263

a：每數據均為 2 區集之平均值。NPK 含量各數據則為 2 種栽植密度，各 3 區集，共 6 區集之平均值。

b：D^1 及 D_2 各代表栽植密度5.71及7.41株／m²，即行株距各為70×25及 70×20cm。

試驗一栽植密度與氮肥之連應業於另報 [9] 討論。因本文討論重點在於播植行深犂／深施之效果，乃將表２不同栽植密度（D_1D_2）之各處理收量加以平均以便比較，如圖２。

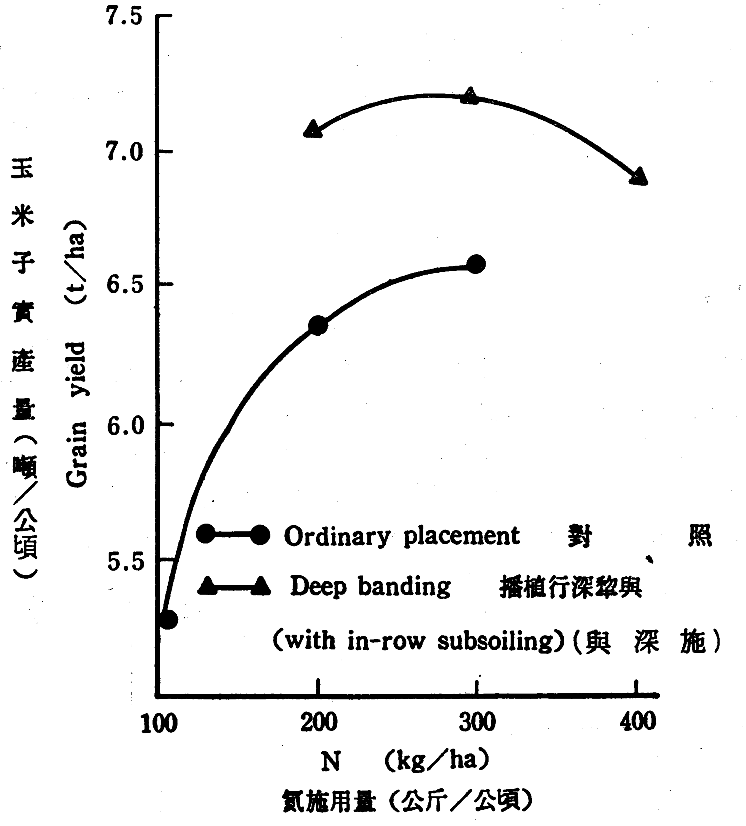

圖 2. 在霧峰試區玉米收量對氮素用量和播植行深犁以及肥料深施之效應（霧峰，臺農351號，1983秋作）。

Fig 2. Nitrogen responses under two methods of fertilizer placement. (Mean of two Spacings each with two replications, TNG 351, 1983 fall crop, Wu-feng).

討　　論

1. 播植行深犂與肥料深施對玉米收量之效果及有關生育性狀。

播植行深犂與肥料深施之處理（以下簡稱深施處理）在霧峰本所39、52、51和90號田均較對照區（標準施肥方法）顯著增產；增產量各達715（表２及圖２），680（表３），

960（表4整地區）及1310（表5整地與不整地平均）kg／ha，增產率各達11、11、20及25％。

表 3. 在不同地區整地下，播植行深犁與肥料深施對玉米收量之效果（試驗二、本所52號田及二崙，1984年秋作）

Table 3. Effect of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on corn yield under tilled condition, and the locational difference. (Experiment 2, Wu-fong and Erh-lun, fall crop 1984).

Location / placement	霧峰			二崙		
N (kg/ha)	150	225	Mean	150	225	Mean
對照 Ordinary	5.97b	5.99b	5.98b	5.85a	5.89a	5.87a
播植行深犁／深施 In-row subsoiling/deep banding	6.65a	6.63a	6.64a	5.81a	6.26a	6.04a

同一直列數據中字母不相同者表示差異達5％顯著性。以下各表均同。

Data with different letters within the same column are significantly different at 5% level. The same is applicable to the following tables.

表 4. 整地與不整地下，播植行深犁和肥料深施對玉米收量之效果（試驗三、本所51號田，1985年秋作）

Table 4. Effects of in-row subsoiling and deep banding of fertilizers on corn yield under tilled and no-tilled conditions. (Experiment 3, Wu-fong, fall crop 1985).

Tillage / Placement	整地 Tilled			不整地 No-till		
N (kg/ha)	150	210	Mean	150	210	Mean
對照 Ordinary	4.65c	4.77c	4.71c	4.73a	4.95a	4.84a
播植行深犁／深施 In-row subsoiling/deep banding	5.53a	5.81a	5.67a	5.19a	4.95a	5.07a
播植行深犁，但施肥法同對照 In-row subsoiling/ordinany placement	5.01b	5.32b	5.17b	4.93a	4.79a	4.86a

深施處理在太保一地亦有顯著效果（試驗尚未結束），惟深施處理在二崙、學甲等地則效果並未顯著（表3及6）。

表 5. 整地與不整地下，不同深度播植之深犁與肥料深施對玉米收量和收量構成要素之效果（試驗四、本所90號田，1986年秋作）

Table 5. Effect of different depths of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on the yield and yield components of corn under tilled and no-tilled conditions.(Experiment 4, Wu-feng, fall crop 1986).

Placement	收量 Yield t/ha			子粒數/m² grain no./m²		千粒重 g/1000 grains	
	整地 Tilled	不整地 No-till	Mean	整地 Tilled	不整地 No-till	整地 Tilled	不整地 No-till
整地 Ordinary	4.95c	5.62b	5.28c	1.78	2.07	277	282
播植行深犁/深施深度25公分 In-row subsoiling/deep banding, Depth 25cm	6.61a	6.58a	6.59a	2.40	2.27	284	286
播植行深犁/深施深度12.5公分 bid, depth 12.5cm	5.73b	6.32ab	6.03b	2.00	2.19	279	281

表 6. 在學甲不同土系試區整地之下，播植行深犁與肥料深施對玉米收量（t/ha）之效果（試驗五，學甲1986年秋作）。

Table 6. Effect of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on corn yield under tilled condition at Shueh-chia. (Experiment 5, Shueh-chia, fall crop 1986).

Placement \ Location	學甲 1（岸內系）	學甲 2（將軍系）
對照 Ordinary	5.95a	5.94a
播植行深犁/深施 In-row subsoiling/deep banding	6.00a	5.75a

楊等 [12,13] 亦示轉作田之肥料深施對玉米之顯著效果，惟渠等係使用中耕機開溝，溝寬較大（20—25公分），相當於局部深耕後之肥料深施，或為全面深耕（60—70公分）後之肥料深施，與本試驗使用狹窄的深犁（寬僅4公分），對土壤之攪動較小，所耗能量較小，同時施肥播種，等有許多差異。

為施行深施處理，本試驗係使用一種以深耕犁和淺犁所組合之雙層施肥播種機將所需磷、鉀肥之全量及氮肥之半量於播種的同時，以2：1比例各深、淺施於播植行下深約25公分處及播種溝旁，其餘半量氮肥則於膝高期追施（試驗1及2在基、追肥比率上略有差異）。對照區之施肥亦以所需磷、鉀肥之全量及氮肥之半量當基肥，但係使用一般施肥播種機將之淺施於播種溝旁；或按玉米苗長出後以人工淺施於株旁；餘半量氮肥亦於膝高期追施。故深施處理與一般施肥之差異在於深耕犁行走時所增耗的能量。據估計本試驗70公

分行距，行寬4公分、深25公分（土壤硬度平均 29 bar）之播植行深犁，每公頃約需增耗 406,000 K Jole 能量，相當於柴油39.4公升（實驗值與估計值亦相當符合），折算新臺幣為 430元，相當於現金收購價格之玉米約30公斤。由於本試驗顯示深施處理平均可以增產玉米 900kg／ha ，故此項能量之消耗應甚是值得。

深施區之玉米生育自膝高期即較對照區略優，而這種差異於吐絲期以後更加顯著；就同一氮肥用量而言，吐絲期深施區之 LAI 較對照區差異不多（表2），但吐絲期～成熟期間單位 LAI 所獲乾物量（△W／LAI）則深施區顯著高於對照區；玉米之氮、磷吸收量亦以深施區顯著高於對照區，而其在吐絲期～成熟期間之差異顯著大於吐絲期以前者，此等關係業於另報[9]討論。故同一 LAI 玉米羣體所獲收量亦以深施區顯著高於對照區（圖3上）。

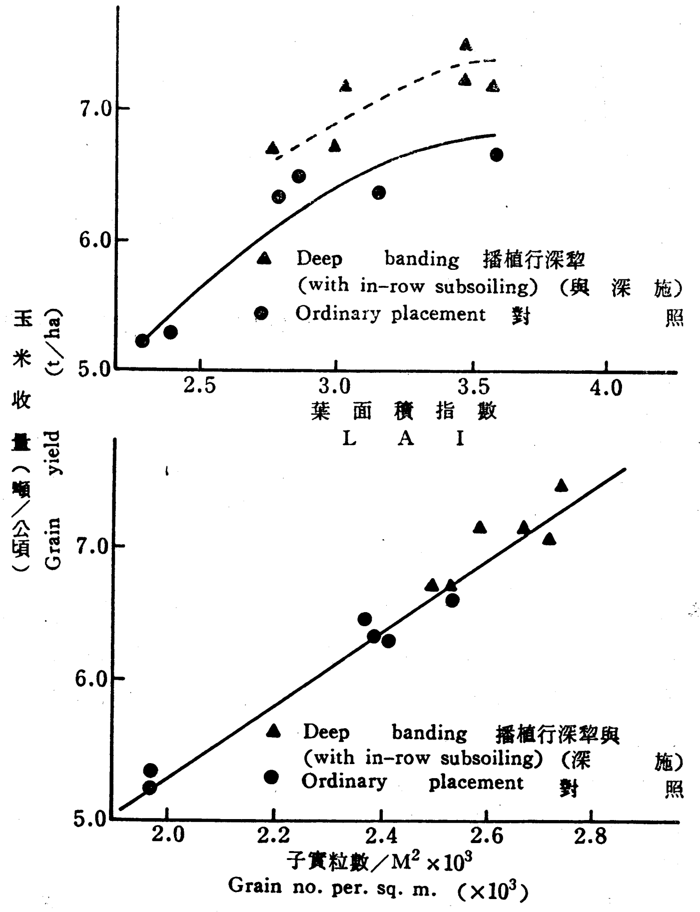

圖 3. 玉米收量與吐絲期葉面積指數及收穫期單位面積子粒數之關係及播植行深犁／深施之效果（TNG 351，霧峰1983秋作）

Fig 3. Relationship between leaf area index (LAI) at silking stage and yield and that between grain no./m^2 and grain yield, under two methods of fertilizer place ment (TNG 351, 1983 Fall crop, Wn feng).

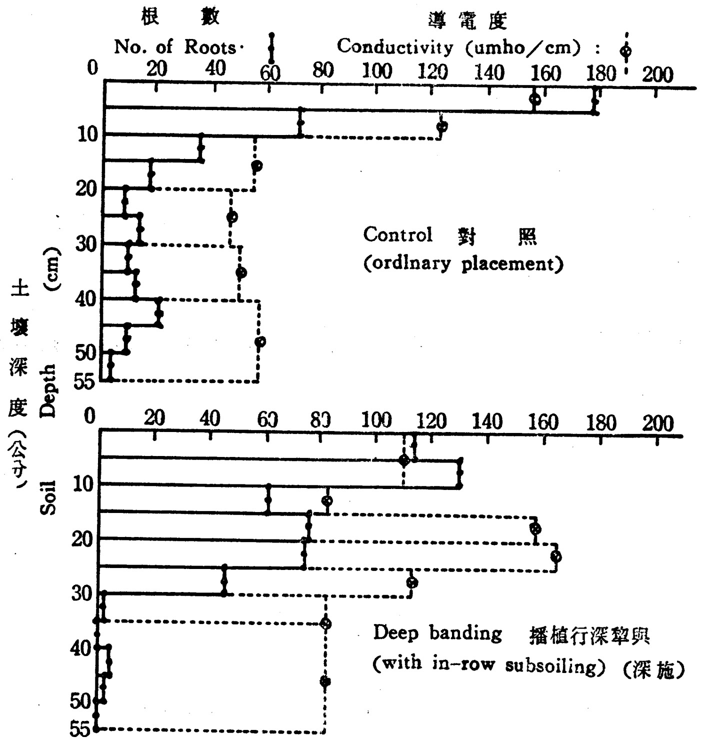

圖 4. 肥料深施區及對照區植株旁 0～15公分土壤剖面玉米根分布與養分濃度（以水：土5：1導電度表示）之關係。（霧峰，1986秋作，收穫期）

Fig 4. Distribution of roots associated with that of nutrient concentration (measured as conductivity of the soil extract) in two soil profiles with and without in-row subsoiling/deep banding of fertilizers. (Wu-feng, at harvest, fall crop 1986).

由圖 1 霧峰土壤剖面之硬度分布判斷25公分深程度之播植行深犂只能局部破壞犂底層，但由圖 4 可見此程度之播植行深犂與肥料深施已對玉米根系之發展獲有相當良好的效果。由該圖可見，就玉米植株兩側各 0—15cm 範圍之土壤剖面而言，深施區之養分（以導電度表示；據另測結果導電度與硝酸含量有正相關關係）分布顯然較深；以深15～25公分處養分濃度最高，並及於深 30—35cm 處。對照區之養分分布較淺；高濃度之養分聚積於 0～10cm 表層。各土層之根數亦與該土層之養分濃度有密切正相關；對照區之根系顯然較淺而深施區則反之。

以上結果顯示播植行深犂與肥料深施可顯著促進根系往底土之發展，使自吐絲期前後以至成熟期之氮、磷吸收量顯著增加，因此該期間之葉片純同化率顯著增加，而使單位面積之谷粒數顯著增加（圖 3 下及表 5），終致子實收量之顯著增產。

2. 播植行深犂和肥料深施效果之比較。

表 4 示在整地下，播植行深犂較對照區增產子實10%，而播植行深犂與肥料深施之綜合處理則較對照區增產20%，可見播植行深犂／肥料深施之效果約有一半應歸功於播植行

深犁 (in-row subsoiling) 本身。

3. 不同深度播植行深犁／肥料深施效果之比較。

表5示深度25公分之播植行深犁與深施較對照區平均增產25%，而其一半深度之處理則只增產14%；深度25公分處理之增產效果顯著優於其一半深度者，可見播植行深犁／深施之推薦應暫以不小於25公分為宜。

由圖1剖面土壤之硬度分布可以推測深度大於25公分之播植行深犁與深施效果可能高於深度25公分者，但因顧及所耗能量較大及所使用之施肥播種機限制，本試驗並未作進一步之探討。

4. 整地與不整地下播植行深犁／深施之效果。

表4曾示，深施處理之增產效果在整地下非常顯著，而在不整地下則否。其原因可能與深耕犁行走時掀起底土土塊，影響苗床之物理性有關，經改善播種溝土壤之物理性（所使用之雙層施肥播種機附加破土輪打碎土塊並予壓實）後其效果已顯著提高，接近於整地者，如表5之結果所示。

據 Naderman 等 [4,5] 播植行深犁在中質地底土中存有硬盤之地區可顯著促進玉米根系在土中之伸展，改善養、水分吸收而獲得增產。此種播植行深犁在底土較粘地區，效果卻適得其反，因會掀起土塊影響苗床物理性故。

5. 不同土壤之播植行深犁與肥料深施效果。

由以上試驗結果可見肥料之深施處理在霧峰（本所）四處（及太保一處）均獲增產效果，但在二崙一處及學甲兩處卻否（如表3及6）。由圖1可見霧峰及太保之土壤剖面硬度顯著高於二崙或學甲兩種土壤；土壤之硬度以及犁底層之存在亦以霧峰和太保最為顯著，而且位置最高，而二崙和學甲則否。霧峰和太保之耕土和犁底層硬度均已超過一般公認之作物根伸長阻礙之機械阻力 (30 bars) [3]，更遠超過所謂之作物根系良好發展之機械阻力 (10 bars) [6]，雖然 Gerard 等 [3] 更指出不同質地土壤阻礙作物根伸長之機械阻力臨界值，互有很大差異 (25～70 bars)：

土壤硬度大，不單對根之伸長機械阻力大，其密實性亦可能阻礙根的呼吸和伸展（蓋土壤硬度大，總體密度大，孔隙率小），但無論經由何種因素，土壤硬度大於上述限值或大於上述限值的土層（即硬層）在剖面出現的位置會嚴重影響作物根的發展或限制其發展之空間（即有效土層）則為事實。故以土壤硬度或硬層在土壤剖面的位置作為根系發展的土壤物理性指標，甚為實際而且重要。

惟土壤硬度除了與土壤的總體密度、實地等基本性質有關外，亦因土壤水分之變動而變。惟圖1所示土壤硬度係在安定的田間狀態下所測，應能代表作物生育過程中剖面土壤的實際硬度，可以充分反應作物根系的發展環境。

圖1示霧峰和太保之土壤硬度均大而且犁底層（硬層）之位置亦較高（地下面下12—25cm），田間實際觀察其根系亦都限於深度 10-25cm 以內而深施處理則可使植株旁左右各 5-10cm，深 20-25cm 範圍的土壤硬度減少，玉米根系在該範圍內亦有顯著的發展（圖略），故對玉米生長，尤其是後期之養分吸收有利。

至於二崙和學甲兩處土壤則其硬度較小，而且硬層之位置亦都在地面 25cm 以下。其作物根在正常狀態下已可伸展到20—25公分土層，故再以20—25公分程度之深施處理當不

致收到顯著效果。二畚一地不需肥料之深施處理，只需在適當的栽植密度與肥料量的配合下即可獲得接近 9t／ha 之高產，另報 [9] 已予討論。

不同地點之深施效應與各地 10–30cm 耕土之平均硬度有顯著正相關，如圖5所示，顯示土壤硬度大或有效土層淺阻礙玉米根系發展乃轉作田玉米生長之主要限制因子。故今後有關技術之推廣及耕耘制度之進一步研究均應注意及土壤硬度及其在土層的位置以期更大效果。

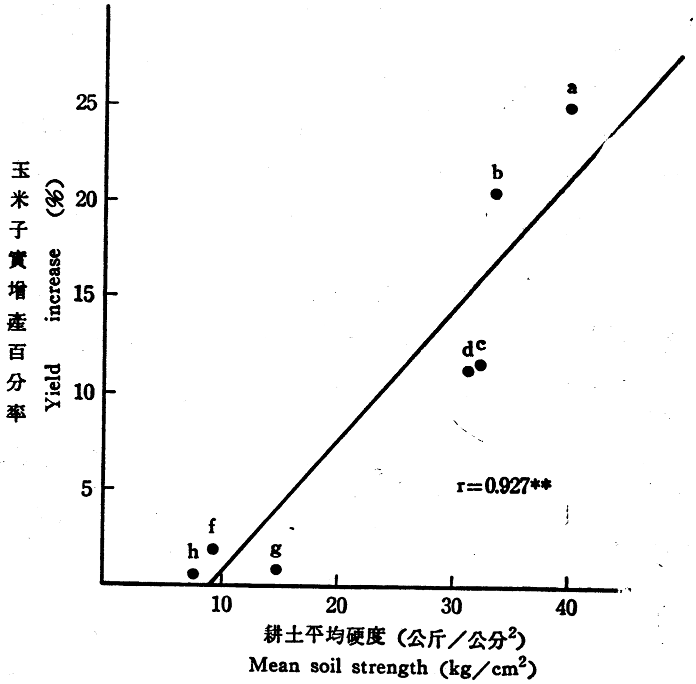

圖 5. 各地10—30公分剖面土壤之平均硬度與播植行深犁／深施效應之關係。
符號 a～h ，詳於圖1。(TNG 351, 1983～1986 秋作)。

Fig 5. Relationship between mean soil strengths of 10-30cm profile and percentage yield ressponses to in-row subsoiling/deep banding (TNG 351, 1983-1986 fall crops).

參考文獻

1. Baker, J. L. and D. R. Timmons. 1984. Effect of method, timing, and number of fertilizer applications on corn yield and nutrient uptake. P197. Agronomy Abstract, 1984 Annual Meetings.
2. Bohm, Wopfgang 1979. Method of Studying Roots Systems. Spring r-Verlag, N. Y., USA.
3. Gerard, C. J., P. Sexton and G. Shaw. 1982. Physicai factors influencing soil strength and root growth. Agronomy J. 74 : 875—879.
4. Naderman, G. C. and G. W. Randall. 1984. Tillage for corn production on

the Coastal Plain. P. 5—7 in Corn Production Systems：1984 Coastal Plain Supplement. The North Carolina Agri. Extension Service, Raleigh, N. C.
5. Naderman, G. C. 1986. Subsurface compaction & subsoiling in North Carolina, An overview. The north Carolina Agricultural Extension Service.
6. 三好洋1972根群發達の良好な土壤條件からみた畑地の有效土層檢討（第一報）日本土壤肥料學雜誌43(3)：92—97。
7. 田中明、山口諄一、藤田耕之輔。1969。トウモロコシの營養生理學的研究（第3報），窒素施與量および栽植密度が乾物生產と子實收量に與える影響。日本土壤肥料學雜誌40：498—503。
8. 行政院農業發展委員會。臺灣省政府農林廳編印（1983修訂）。作物施肥手册 P. 35—39.
9. 連深　王鐘和1987。轉作田之米生育特性及肥培管理（子實收量之期作間和土壤間差異及有關因素）。中華農業研究，刊印中。
10. 梁鉅榮1977。臺灣水稻田土壤之生育及其特質。中華農業會報（新） XCV11, 61～75.
11. 郭鴻裕　林登鴻　向為民1985。玉米根系分布與土層硬度之關係。臺灣省農業試驗所民國七十四年年報。
12. 楊策羣　朱德民　陳世雄1985。水田轉作玉米之土壤物理性改良對策。 P. 167—190，七十四年度土壤肥料試驗示範報告（糧食作物），臺灣省政府農林廳。
13. 楊策羣　朱德民　陳世雄 1986 。稻田轉作玉米土壤物理性改良與肥料管理研究。P. 214—234，七十五年度土壤肥料試驗示範報告（糧食作物），臺灣省政府農林廳。